ＭＰＳの研究

冨手　壮一

1．はじめに

平成14年度より技能五輪メカトロニクス職種参加選手の指導を担当し熊本、新潟、岩手と3回の全国大会に参加した。シーケンス制御に関する知識がゼロの状態から取り組みを始め当初はだいぶ苦労したが、当校学生チームの指導についてはなんとか形になってきた感がある。

昨年度からは卒業生が所属する企業チームの指導も併せて担当することとなり、選手と協力しながら限られた時間の中で努力を重ね、充実した時間を過ごすことができたが、私自身非常に大きな負担となっていた。しかしこのおかげで、全国大会では他県から参加した企業チームの審査を務めることができ、国内トップチーム選手の競技を間近で観察し、また、練習方法などについて選手から直接話を聞くことができた。なかでも、「特別な練習をしているつもりはない。疑問に思ったことは理解できるまで徹底的に調べる。」というあるチームの選手の言葉は印象的で、まさに目から鱗が落ちる思いであった。

メカトロニクス職種では各参加チームが競技に使用する装置を持ち込む。基本的な構成は日本で一般的に見られる自動機と大差ないものの、輸入品であるため使用部品が国内で一般的に販売されている規格と異なっていたり、日本語の説明書がついていなかったりとわかりづらい点が多い。日本で大会が始まった当初は装置の概要を理解できれば課題に対応できていたものの、年々課題内容が高度化し、より本質的な事項を理解できていないと対応できなくなってきている。過去2回の大会に参加するにあたり自分の指導を振り返ってみると「ああすれば、こうなる」ということを理解することに精一杯で、また理解できたことに満足してしまい、「なぜ、ああすれば、こうなるのか？」というところまで突き詰めて考える余裕がほとんどなかった。

以上を踏まえ、今年度は「疑問を持ち越さない」ことを目標に訓練を行ってきた。『MPSの研究』というタイトルは若干大げさな感はあるが、これまで得た知識をまとめてみたい。

2．ＭＰＳの概要

2．1　技能五輪仕様MPS 3ステーション

図1に技能五輪全国大会で使用されるMPS（Modular Production System）3ステーションの外観を示す。それぞれ異なる機能を持つ3種類のユニット（ステーション）を接続しているもので、各ユニットはそれぞれ個別に制御用のPLC（Programmable Logic Controller）を持ち、各PLC間で通信を行うことによりシステム全体の制御を行う。
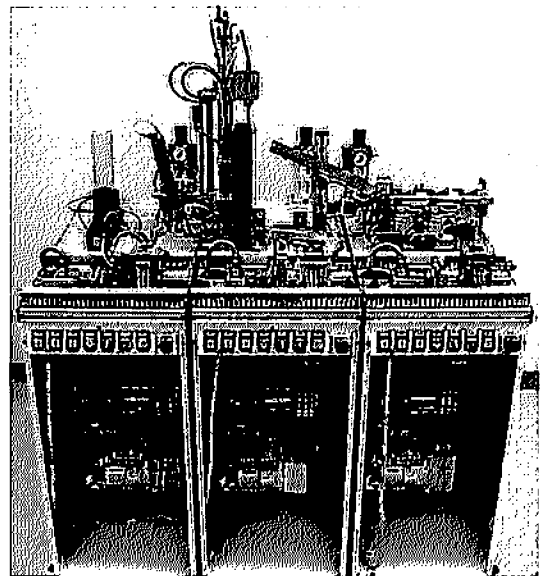
図1　MPS 3ステーション

表1に使用するワークを示す。MPS 3ステーションでは搬送経路に設けられた各種センサによりこれら3種類のワークの判別、分類を行う。

＊メカトロニクス技術科

表1　使用するワークの種類

種類	材質	高さ
黒	樹脂製	約 22.5 mm
赤		約 25 mm
銀	樹脂製ニッケルメッキ	

装置に使用されるセンサのうち無接点式のものは全てPNPオープンコレクタ出力となっている。日本国内ではNPNオープンコレクタ出力が一般的でPNPタイプはほとんど販売されていないが、ヨーロッパでは安全に対するコンセプトの違いから一般的にPNPタイプが採用されている。これは図2に示すように、出力線が地絡した場合NPNでは負荷が動作してしまうが、PNPでは負荷には電流が流れず停止するためより安全な設備となるという考え方に基づくものである。NPNとPNPではコモンが逆（0Vに接続するか24Vに接続するか）になるので注意が必要となる。
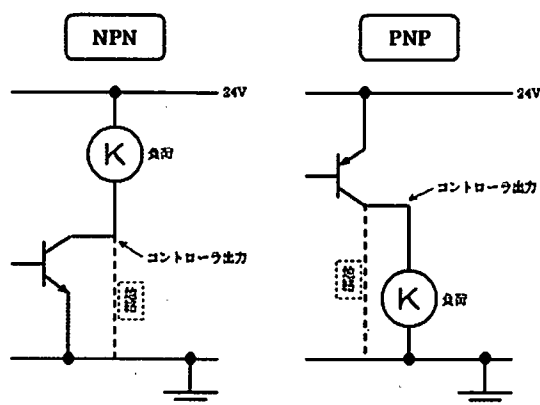
図2　PNPとNPN

2．2　ディストリビューションステーション（D-st）

このステーションはワークを供給する。ワークマガジンに投入されたワークは空気圧シリンダ（メータアウトスピードコントローラ付）駆動のエジェクタで押し出される。そのワークを空気圧揺動形アクチュエータ（メータアウトスピードコントローラ付）駆動のスイベルにより次ステーションへ運搬する。スイベルでのワーク把持は真空発生器により発生させた真空を用いる。

表2、表3にD-stのセンサおよびアクチュエータを示す。スイベルの駆動には3位置バルブを用いているため任意の位置で停止させることができる。

表2　D-stセンサー覧

機器名	摘要
エジェクタ後退端	リードスイッチ3線式（0Vはインジケータ用）
エジェクタ前進端	
スイベルマガジン側	リミットスイッチ
スイベル次工程側	
真空センサ	有接点3線式（0Vはインジケータ用）
マガジン内ワーク無し検知	ファイバ式透過フォトセンサ無接点3線式

表3　D-stアクチュエーター覧

機器名	摘要
エジェクタ（前進、後退）	5ポート2位置シングルソレノイドバルブ（type M）駆動複動シリンダ スピードコントローラ付
スイベル（マガジン側、次工程側）	5ポート3位置ソレノイドバルブプレッシャセンタ（type N）駆動（またはエギゾーストセンタ（type C）＋パイロットチェック弁） 揺動アクチュエータ スピードコントローラ付
真空（発生、停止）	5ポート2位置ダブルソレノイドバルブ駆動（type J）真空エジェクタ

2．3　テスティングステーション（T-st）

このステーションはディストリビューションステーションから受け取ったワークの種類および高さの測定を行う。ワーク判別にはインダクティブセンサ（高周波センサ、金属を感知）、キャパシティブ（静電容量センサ、樹脂および金属を感知）、およびオプティカルセンサ（拡散反射型光電センサ、反射率の高い赤色・銀色を検知）を用いる。ワーク高さはポテンショメータを内蔵した接触式のスライドプローブを用い、高さ変化による抵抗変化値を電圧値に変換しPLCにアナログデータとして送る。

表4　T-stセンサー覧

機器名	摘要
インダクティブセンサ	無接点3線式
キャパシティブセンサ	無接点3線式
オプティカルセンサ	反射光検知無接点3線式
リフト下降端	磁気センサ無接点3線式
リフト上昇端	
エジェクタ後退端	リードスイッチ3線式
チェックシリンダ下降端	
チェックシリンダ（高さ測定）	ポテンショメータ接触式スライド

表5　T-st アクチュエーター覧

機器名	摘要
リフト （下降、上昇）	5 ポート 3 位置ダブルソレノイドバルブエギゾーストセンタ（type C）+パイロットチェック弁） ロッドレスシリンダ スピードコントローラ付
エジェクタ （前進、後退）	5 ポート 2 位置シングルソレノイドバルブ（type M） 複動シリンダ スピードコントローラ付
チェックシリンダ （下降、上昇）	
ストッパ （前進、後退）	5 ポート 2 位置シングルソレノイドバルブ（type M） No.4 ポートにストッパプラグ取り付け 3 ポートバルブとして使用 単動シリンダ

表4、表5にT-stのセンサおよびアクチュエータを示す。リフトは自重により降下しないようアクチュエータの空気圧ポートにパイロットチェック弁が組み込まれている。また、3位置バルブを使用しているため任意の位置で停止させることができる。

2.4　ソーティングステーション（S-st）

このステーションではテスティングステーションからワークとその判定データを受け取り、3つのスライドに運搬格納する。

表6　S-st センサー覧

機器名	摘要
スイッチ 1 後退端	リードスイッチ 3 線式 （0V はインジケータ用）
スイッチ 1 前進端	
スイッチ 2 後退端	
スイッチ 2 前進端	
ベルト上ワーク無し検出	ファイバ式透過フォトセンサ無接点 3 線式
スライド上ワーク検出	回帰反射型フォトセンサ無接点 3 線式

表7　S-st アクチュエーター覧

機器名	摘要
スイッチ 1 （前進、後退）	5 ポート 2 位置シングルソレノイドバルブ（type M）駆動 複動シリンダ スピードコントローラ付
スイッチ 2 （前進、後退）	
ベルトコンベア	リレー インジケータ付のため極性あり
ストッパ	5 ポート 2 位置シングルソレノイドバルブ（type M）駆動 No.4 ポートにストッパプラグ取り付け 3 ポートバルブとして使用 単動シリンダ

表6、表7にS-stのセンサおよびアクチュエータを示す。ワークを各スライドに運搬するためのベルトコンベアおよびコンベア上のワークの進行方向を変更するためのスイッチユニットからなり、コンベアはリレーを介しDCモータで駆動され、その他のアクチュエータは空気圧で駆動される。

3．各部詳細

各ステーションの構成機器および回路のうち特徴的な部分について解説する。

3.1　空気圧系統（共通）

（1）ソレノイドバルブ
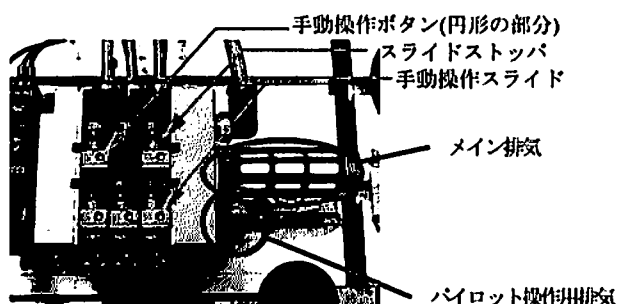
図3　ソレノイドバルブ

図3にD-stのソレノイドバルブを示す。手元にドイツ語の取扱説明書しかないため、以下に記述する各部の呼び名は便宜的なものである。

バルブは全て手動付パイロット操作型で、手動操作スライド（青色の部分）に開いた丸穴を、先のとがった工具で押すことにより手動操作を行うことができる。また操作スライドのそばにある半透明のストッパを取り外すと手動操作スライドが可動状態となり、その操作により手動操作を行うことができるようになる。ストッパは図7に示す固定ねじをはずし各ブロックに分解後取り外すことができるが、ストッパを取り外す際には周囲のプラスチック部品を損傷しないよう気をつける必要がある（ストッパ自体は再使用しないのであれば破損しても差し支えない）。部品を破損してもおそらく部品単体では入手不可能で、高価なバルブブロックを購入、交換することになる。

図5には分解したバルブブロックの例を示す。左側は5ポート2位置シングルソレノイドタイプ、右側は5ポート2位置ダブルソレノイドタイプである。バルブタイプが異なるとパッキンの形状も異なるので分解後に再組み立てする際は注意が必要である。

またエア漏れの恐れがあるのでパッキンの損傷や異物のかみこみにも十分注意しなければならない。
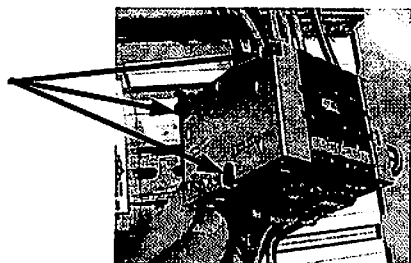
図4　バルブブロック固定ねじ
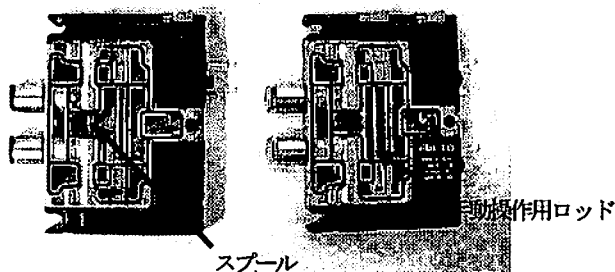
図5　分解したバルブブロック

図6はソレノイドバルブ出力ポートにチューブコネクタを取り付ける様子を示す。コネクタはチューブ取り付け口から3㎜六角レンチを差し込み取り外しができる。バルブブロックへの取り付けねじサイズはM7と国産品には例がなくフェスト製でなければ取り付けることができない。
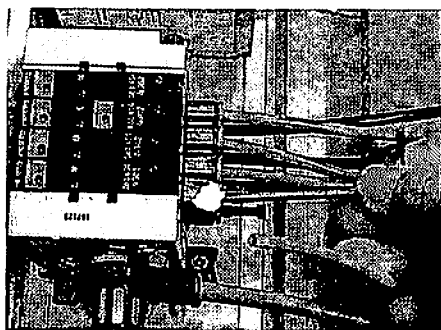
図6　出力ポート接続口交換

表3、5、7にあるようにMPSでは3種類（ないし4種類）のソレノイドバルブが使用されている。図7に各バルブの内部回路を示す。各ポートや押しボタンを示す図中の数字はバルブ本体に表示されている。

単動シリンダの駆動は、5ポート2位置バルブのNo.4ポートにストッププラグを取り付け3ポートバルブとして使用している。また5ポート3位置バルブの内部構造は3ポート2位置シングルソレノイドバルブを2個組み合わせたものとなっている。
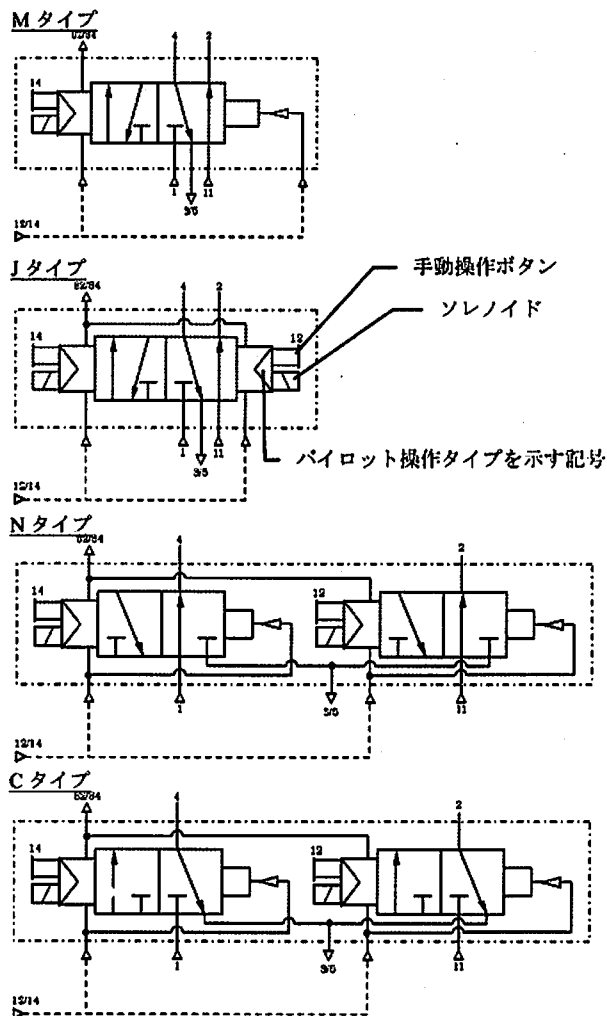
図7　ソレノイドバルブの内部回路

（2）スピードコントローラ
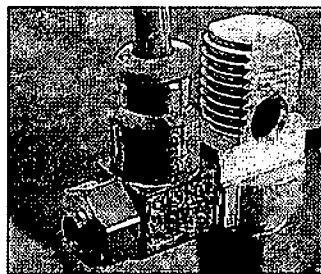
図8　スピードコントローラ

使用されているスピードコントローラは全てメータアウトタイプで、マイナスドライバで調整する。スイベルおよびリフトで使用されているのものはパイロットチェック弁を取り付けるため入力側M5オ

ス、出力側M５メスとなっているが、それ以外は出力側がユニオンとなっている。

３．２　電気系統（共通）

（１）制御盤
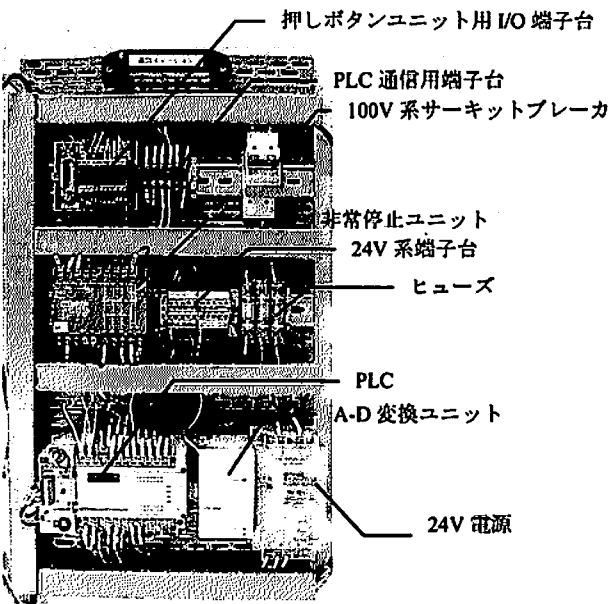
図９　制御盤

図９に制御盤の外観を示す。制御盤は３つのステーションでほぼ共通の仕様となっているが、T-stには高さ測定のアナログデータをPLCに取り込む必要からA-D変換ユニットが装着されている。また、ここに示すPLCが三菱電機FX2N仕様の制御盤では、PLC通信を端子台経由で行っているため、後述のようにその部分の配線が若干異なっている。また、ここに示す機器配置は購入時のままとなっているが、購入後必要に応じ機器の配置を変更することはかまわない。

（２）I/O端子台とI/Oケーブル
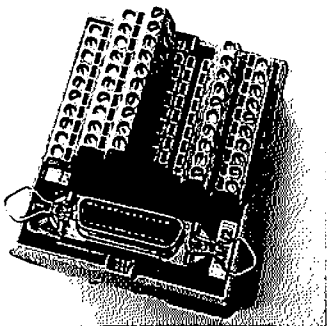
図10　I/O端子台

PLCと入出力機器との接続配線の途中に図10に示すI/O端子台が設置される。押しボタンユニット系統およびセンサ・アクチュエータ系統にそれぞれ設置される。この部品はケースがフェニックスコンタクト製であるため汎用品だと思っていたが、基板に「FESTO」とプリントされていることからもわかるようにフェストオリジナルのものである。

図11に端子台の端子配置およびコネクタ端子番号を示す。入力側I0～７にはセンサ出力やスイッチを、出力側O0～７にはランプやアクチュエータを接続する。入力側はスイッチにより、接続するセンサをNPNタイプとするかPNPタイプとするか選択することができる。また、入力および出力の状態をモニタするインジケータを備えており、入力側はNPN用とPNP用が別になっている。
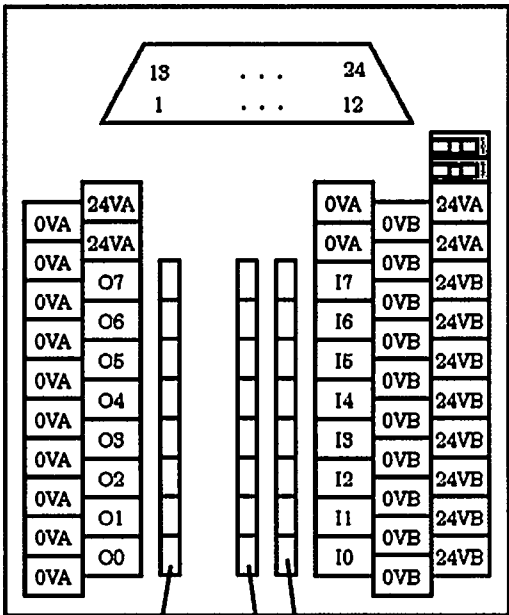
図11　I/O端子台コネクタピンと各端子の接続状態

表8　I/Oケーブルコネクタ端子とケーブルの対応

ピン番号	信号	ピン番号	信号
1	OUT 0	13	IN 0
2	OUT 1	14	IN 1
3	OUT 2	15	IN 2
4	OUT 3	16	IN 3
5	OUT 4	17	IN 4
6	OUT 5	18	IN 5
7	OUT 6	19	IN 6
8	OUT 7	20	IN 7
9	24VA	21	24VB
10	24VA	22	24VB
11	0VA	23	0VB
12	0VA	24	0VB

ケーブルコネクタと各端子の接続状態を表8に示す。+24Vおよび0VはそれぞれA系統、B系統の二つのラインがあるが、同じDC24V電源出力につながっているので気にする必要はない。

図12にはI/Oケーブルのコネクタ接続状態を示す。このI/Oケーブルは、フェスト標準品は高価なので、手に入りやすい国産品ケーブルAssyを購入するか、学生に製作させるのも良いと思う。
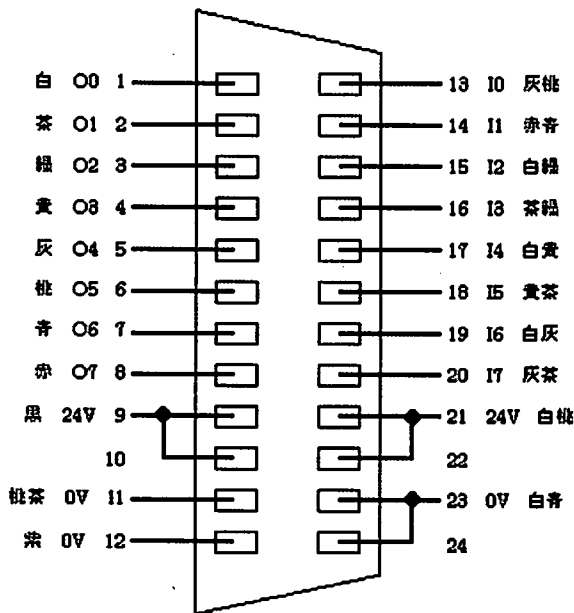
図12 I/Oケーブル接続状態（ケーブル側から見た図）

図13に切り替えスイッチ部を示す。入力側に接続するセンサタイプを切り替える際に使用するが、NPNセンサを使用するときは必ずどちらのスイッチもNPN側へ、PNPセンサを使用するときは必ずどちらのスイッチもNPN側へ設定しなければならない。
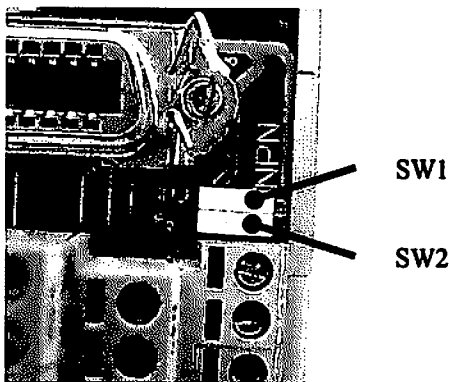
図13 I/O端子台切り替えスイッチ
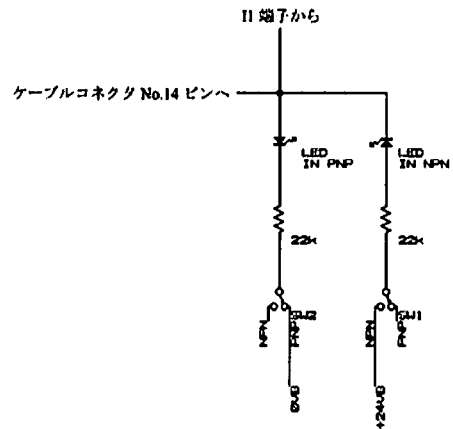
図14 I/O端子台内部回路図（入力側I1の例）

基板の回路パターンから入力側の内部回路は図14のようになっていると思われる。これらのスイッチはモニタ用LEDを点灯させる目的で設置されており、PNPセンサを使用しているとき、スイッチの設定により以下のような現象が発生する。

まずSW1=PNP、SW2=NPNとした場合はPNP用LED、NPN用LEDともに一端がオープンとなるためセンサ入力にかかわらず点灯しない。ただしPLCの入力は正常となるため機器の動作に支障はない。

これとは逆にSW1=NPN、SW2=PNPとした場合は、[24VB]→[SW1]→[NPN用LED]→[PNP用LED]→[SW2]→[0VB]と電流が流れる。このためセンサ入力がオフ（オープン状態）の端子はNPN用LED、PNP用LED両方が点灯する。ただしNPN用LEDとPNP用LEDの接続点の電位が12VとなるためPNP用LEDは少し暗く、NPN用はPLC入力端子へ電流が流れ込む影響で通常の明るさとなる。またセンサ入力がオンの端子（+24Vが現れる）はNPN用LEDには電流が流れない（両端の電位が24V）ため消灯し、PNP用LEDは正常に点灯する。

SW1=SW2=NPNとした場合は、センサ入力がオフのときNPN用LEDが点灯、オンのときLEDは消灯する。またセンサ入力にかかわらずPLC入力はオンとなる。

これに対し出力側の内部回路は図15のようになっていると思われる。出力側はスイッチ操作の影響を受けず出力端子に24Vを加える（PLC出力がオン）とLEDが点灯し、それ以外の場合はLEDが消灯する。
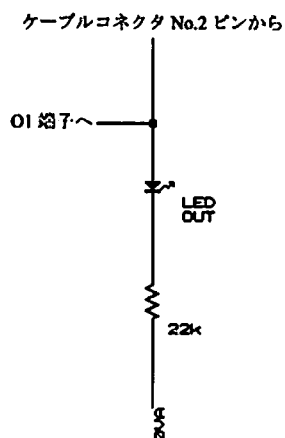
図15　I/O 端子台内部回路図（出力側Ｏ１の例）

（３）I/O 端子台への負荷の接続
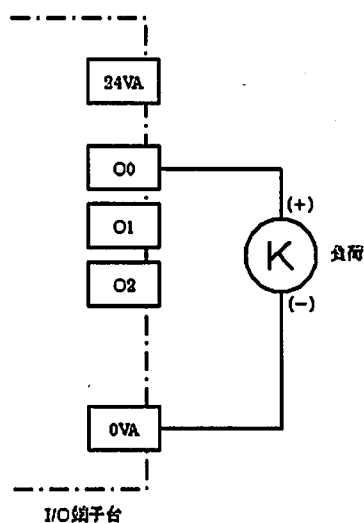
図16　負荷の接続回路

I/O 端子台への負荷の接続を図16に示す。ソース出力となるので負荷の＋側端子をＯ０～７に、マイナス側端子を０VA（または24VB）に接続する。ただし MPS の負荷で極性が問題となるのは S-st のコンベアモータ用リレーのみで、それ以外の出力（全てソレノイドバルブ）は極性を気にする必要はない。なお負荷を接続した状態において、24VA（または24VB）と出力端子をショートさせると PLC の出力がオフ状態でも負荷を駆動することができる。このとき、I/O 端子台の出力モニタ用 LED が点灯する。

（４）押しボタンユニット

図17に押しボタンユニットの外観を示す。使用されている押しボタンはムーラー電機製で、モメンタリ照明付 PB（Push Button、START、RESET、多目的)、モメンタリ照明なし PB（STOP、QUIT)、オルタネート照明付 PB（非常停止)、オルタネート照明付ノブ（COMUNICATION)、オルタネート照明なしノブ（AUTO/MANU）が使用されている。各端子には I/O 端子台からのケーブルが接続されているが、これとは別にスイッチおよびランプはそれぞれコモン配線で接続されている。
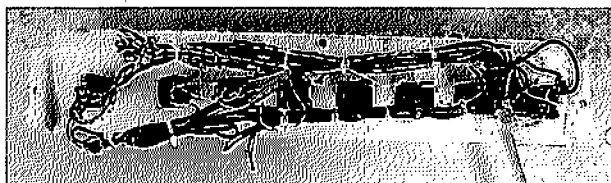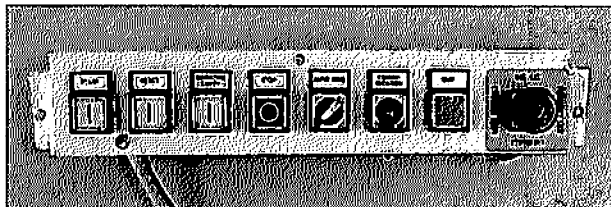
図17　押しボタンユニット

図18にスイッチ単体の外観を示す。スイッチ接点はａ接点またはｂ接点を自由な組み合わせで２個まで取り付けることができる。上段が接点のついていない状態のスイッチで、左側が照明付（照明用端子付)、右側は照明なしのタイプである。下段は上段のスイッチに取り付ける接点で、写真ではわかりにくいが右側がａ接点タイプ（緑色)、左側がｂ接点タイプ（赤色）である。スイッチ接点、ランプともに４個の接点がついているが、それぞれ２本ずつが内部で接続されておりコモン配線の渡りをとることできるようになっている。
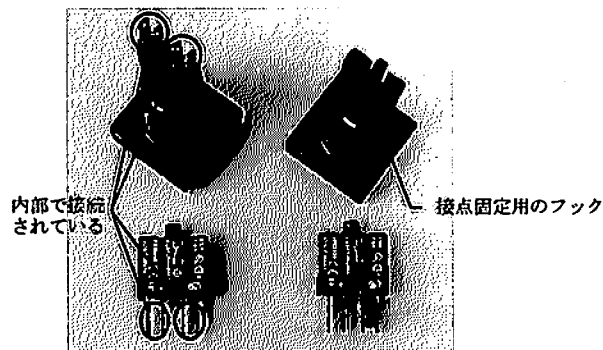
図18　押しボタンスイッチ

ランプ付のスイッチは押しボタンの操作部カバーおよびノブを取り外してランプを交換する。カバーは精密ドライバなどを用いてはずし、ノブは垂直に引き抜く。ムーラー電機にはランプ引き抜き工具が用意されているが小型のラジオペンチを使用すれば引き抜き、取り付けが可能である。ランプはムーラー電機の標準品を購入しても良いが、「フィラメント

ランプ ウェッジベース５㎜24V」として汎用品が販売されている。

図19には押しボタンユニットの実体配線図を示す。配線状態を暗記する必要はないが、スイッチの操作状態や PLC の出力状態に応じ各端子にどのような電流が流れるのか、回路図とあわせ十分に理解する必要がある。
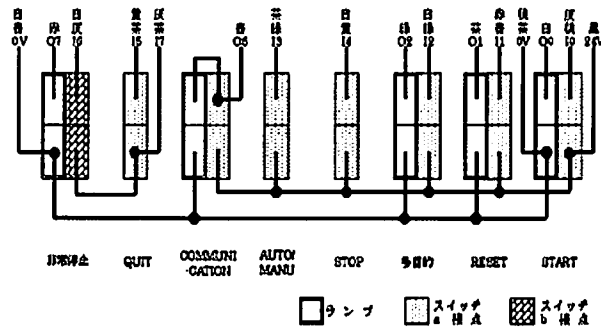
図19 押しボタンユニット実体配線図

表９に押しボタンユニット用 I/O 端子台の接続状態を示す。アクチュエータ用 I/O 端子台と異なり、COMMUNICATION スイッチが PLC の入力側であるにもかかわらず O６に接続されている点に注意しておかなければならない。

表9 押しボタンユニット用 I/O 端子台の接続

端子	端子接続先	押しボタン接続先
I0	PLC X10	START PB
I1	PLC X11	RESET PB
I2	PLC X12	多目的 PB
I3	PLC X13	AUTO/MANU
I4	PLC X14	STOP PB
I5	非常停止ユニット T34	QUIT PB(1)
I6	非常停止ユニット T12	非常停止 PB
I7	非常停止ユニット T11	QUIT PB(2)
O0	PLC Y10	START LAMP
O1	PLC Y11	RESET LAMP
O2	PLC Y12	多目的 LAMP
O3		
O4		
O5		
O6	PLC X15	COMMUNICATION
O7	非常停止ユニット 42	非常停止 LAMP

（５）非常停止ユニット

図20に非常停止ユニット（pilz 製 PNOZ1）を示す。一般的にはセーフティリレーユニットと呼ばれており、設備の故障時、確実に停止させるため非対称故障特性、冗長性を備えた安全回路である。国産品でもオムロンなどに同等品があり、外部接続機器により多様な使用方法がある。

図21に示すように、MPS ではこのユニットに非常停止ボタン（オルタネートｂ接点）と QUIT ボタン（ａ接点）を接続し４系統の電源を制御できるようになっている。非常停止ユニットに関する課題は全国大会で取り上げられることが多いので、その動作を十分に理解しておくことが必要である。外部入力の状態と回路の動作は以下のようになる。
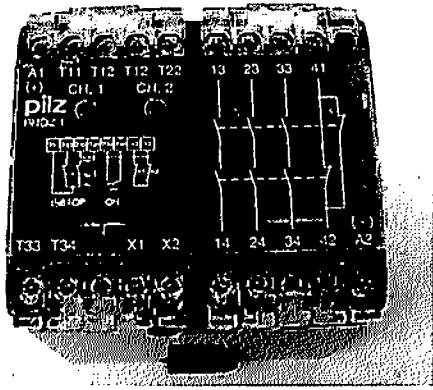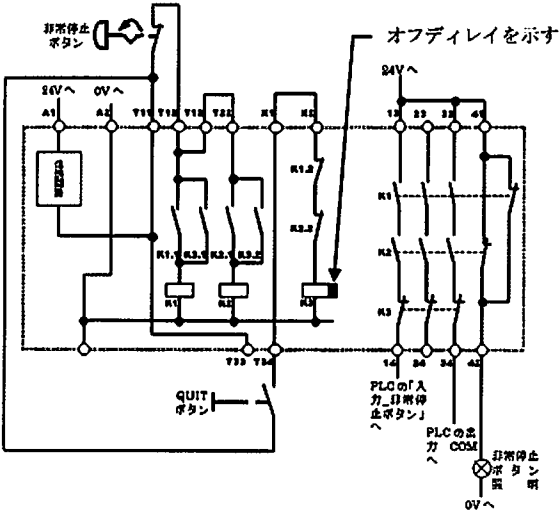
図20 非常停止ユニット

図21 非常停止ユニットの内部回路と外部配線の状態

① 初期状態は内部のリレーK１、K２、K３ともオフ状態となっている。このとき右側の出力制御回路ではK１（ａ接点）とK２（ａ接点）が開、K３（ｂ接点）が閉となっているので、14、24、34はオフ（24Vとつながっていない）状態、42はオン（24Vとつながっている）状態で、42に接続されている非常停止ボタン照明は点灯する。

② QUIT ボタンを押すと、＋24V～A１～T11～QUIT ボタン（ａ接点）～T34～X１～X２～K1.2（ｂ接点）～K2.2（ｂ接点）～K３～A２～０Vと電流が流れK３がオンとなる。K３がオンするとK１、K２につながるK3.1（ａ接点）、K3.2（ａ接点）が閉となるが、非常停止ボタンを解除していない場合はT12、T22がオープンとなっているのでK１、K２はオフのままとなる。

表10　非常停止ユニット関連のトラブル例

現象	原因
非常停止ユニットがオフしているが非常停止ボタンの照明が点灯しない	① 41に+24V未接続 ② ランプ（LED）切れ ③ 42からランプまでの配線断線、接続ミス ④ ランプから0Vまでの配線断線、接続ミス
非常停止ボタンを引きQUITボタンを押しても非常停止ユニットがオンしない（QUITボタンを押したときに音はする）	① T12から非常停止ボタンへの配線断線、接続ミス ② 非常停止ボタンがa接点になっている ③ 非常停止ボタンが壊れている
非常停止ボタンを引きQUITボタンを押しても非常停止ユニットがオンしない（QUITボタンを押しても音はしない）	① T11から非常停止ボタンへの配線断線、接続ミス ② A1に+24Vが未接続 ③ A2に0Vが未接続 ④ T34にQUITボタンからの配線が未接続 ⑤ X1～X2間が未接続 ⑥ 非常停止ボタンがa接点になっている ⑦ 非常停止ボタンが壊れている ⑧ QUITボタンが壊れている
非常停止ボタンを引きQUITボタンを押してもCH1(LED)しか点灯しない	T11～T12間が未接続
非常停止ユニットは動作（2つのLEDが点灯）しているがPLCの出力負荷にDC24Vが供給されない	① 33に+24Vが未接続 ② 34からPLC出力COMまでの配線断線、未接続
非常停止ユニットは動作（2つのLEDが点灯）しているがPLCの入力X17に非常停止解除信号が入らない	① 13に+24Vが未接続 ② 14からPLC入力X17までの配線断線、未接続

なおこのときQUITボタンを押すとカチャカチャ音がするのはK３が動作する音と思われる。出力制御回路ではK３（ｂ接点）が開となるが、K１、K２がオフのままなので14、24、34がオフ、42がオンとなるのは①と同じ。

③　非常停止ボタンを引き戻した状態でQUITボタンを押すと②と同様にK３がオンし、＋24V～A１～T11～非常停止ボタン（ｂ接点)～T12～K3.1（ａ接点)～K１～A２～０Vと電流が流れK１がオンする。T12～T22が接続されているのでK２も同様にオンする。

なお、K１がオンの時パネル上のCH 1（LED）が、K２がオンの時CH 2（LED）が点灯する。K１またはK２がオンするとそれぞれK1.2（ｂ接点)、K2.2（ｂ接点）が開となりK３がオフする。ただしK３はオフディレイのため、K１またはK２のどちらかが先にオンしてもすぐにはオフせず、もう一方がオンする程度の時間はオン状態を継続する。K１、K２はそれぞれK1.1、K2.1で自己保持がかかっているので、QUITボタンから手を離しても、またK３がオフしK3.1（ａ接点)、K3. 2（ａ接点)が開となってもオン状態を継続する。K１とK２がオンしK３がオフすると、出力回路ではK１（ａ接点)、K２（ａ接点)、K３（ｂ接点）ともに閉となり、14、24、34はオンとなる。また、K１（ｂ接点)、K２（ｂ接点）ともに開となるので42はオフとなり非常停止押しボタン照明は消灯する。QUITボタンを押したときゆっくりしたペースでカチャッという音がするのは最初にK３がオンし、その後K１とK２がオンした後にオフディレイでK３がオフする音だと思われる。

④　非常停止ユニットが動作中に非常停止押しボタンを押すとK１、K２は非通電状態となるためオフし初期状態に戻る。

表10に非常停止関連のトラブル例をまとめておく。

（６）24V系端子台

DC24V電源出力は図22に示す端子台で分配される。中央部にはショートバーが入っているがマイナスねじとなっており、またねじが長く取り外しが面倒である。端子固定ねじは細いためドライバも細いものを用いなければならないが、購入時は非常に固く締まっておりやっかいである。
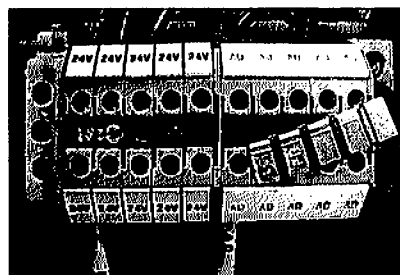
図22　24V系端子台

（７）PLC（三菱電機FX2N仕様）

MPSの制御用PLCは、当初は三菱電機製FX2Nが標準となっていたが現在では富士電機製PLCに変わっているようである。

国内で販売されるFX2NはNPNオープンコレクタ出力タイプ型センサを接続することを前提にシンク入力となっているが、MPSに設置されるモデ

ルは輸出仕様の入力がシンク（センサ出力がシンク、NPN センサ対応）、ソース（センサ出力がソース、PNP センサ対応）切り替えタイプの FX2N-32MR-ES/UL となっている。
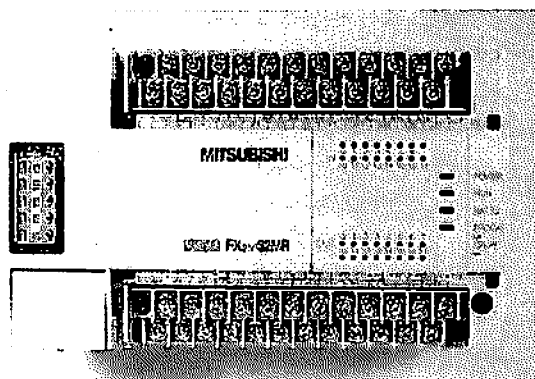
図23　FX2N
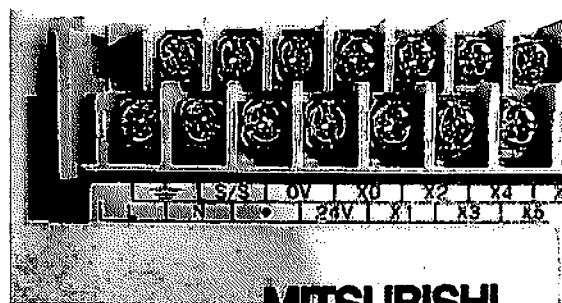
図24　FX 入力切り替え端子

図24に入力切り替え部を示す。「S/S」端子がシンク／ソース切り替えのための端子で、この端子と0Vを接続するとソース入力に、24Vを接続することでシンク入力に切り替えることができる。

なお出力はリレー出力タイプのため国内仕様と使い方に違いはない。出力は4出力1コモンとなっているので PLC の出力端子電流容量に注意すれば異なる電源の機器を直接駆動することもできる。

MPS では各コモン間を短絡して使用しており、すべてのコモン端子に＋24Vが供給されているため、PLC の出力がオンすると出力端子から外部機器に＋24Vが印加されることになる。

（８）PLC 通信（三菱電機 FX2N 簡易 PC リンク仕様）

PLC に FX2N を用いている場合、PLC 間の通信は「簡易 PC 間リンク（１ペア配線）」で行っておりその接続を図25に示す。FX2N にはオプションの RS485通信ボードが装着される。MPS のプログラムはサイズも小さく通信速度が装置の動作に影響を与える心配はほとんどないので、プログラム上で行う通信パラメータ設定にあまり気を使う必要はない。
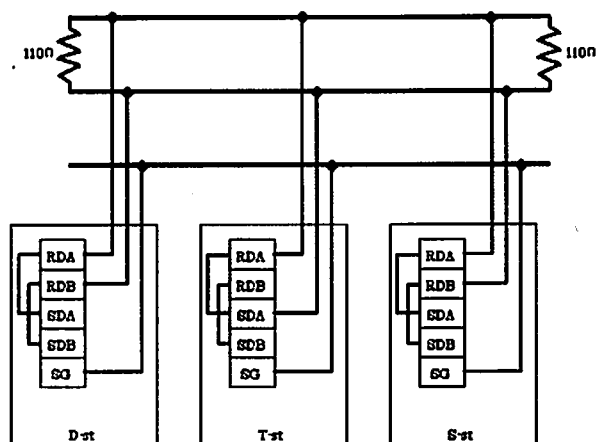
図25　PLC 通信の配線図

回線の終端には110Ωの終端抵抗がついているが、終端抵抗をはずしても不具合が発生した経験はない。PLC は参加チームにより異なりPLC 通信の方法もさまざまなので、この部分に関するトラブル設定はないものと思われる。ただしアンノゥンステーション課題ではステーションの追加により PLC が増えるので、PLC を追加した際の配線および通信パラメータの変更方法については押さえておく必要がある。

３．３　ディストリビューションステーション

（１）スイベル
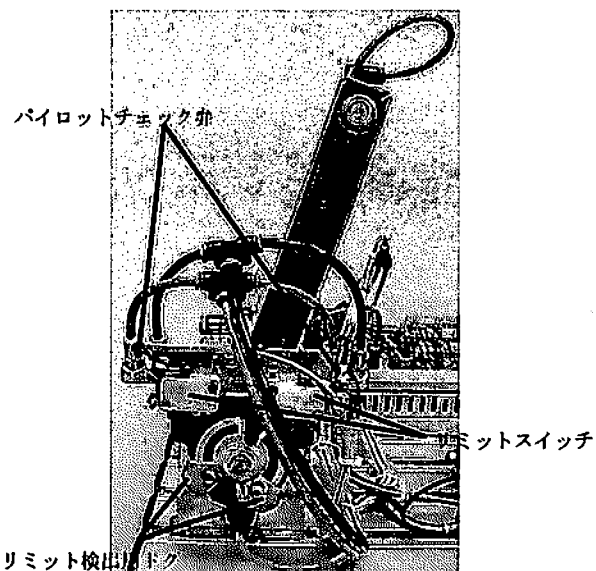
図26　スイベル外観

図26に示すのはパイロットチェック弁付のスイベルユニットである。現在販売されているバージョンの MPS では操作用のソレノイドバルブの形式が変更となっておりパイロットチェック弁がついていない。スイベルの回転角度検出用にリミットスイッチおよびドグが備えられているがいずれも固定ねじを

緩めて位置調節ができるようになっている。

（2）真空発生器
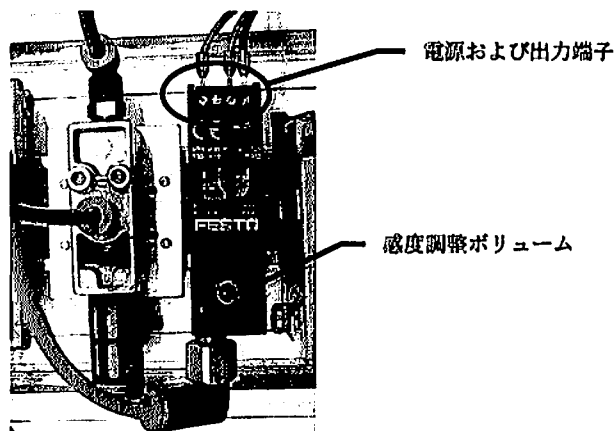
図27　真空発生器と真空センサ

図27の左側が真空発生エジェクタ、右側が真空センサである。この写真は初期型であり現在の真空発生器はこれよりも小さい。また、次期バージョンでは真空発生エジェクタが組み込まれたタイプのソレノイドバルブに変更になるということで機器構成が変更となる。

真空センサには24V、０Ｖおよび出力ケーブルの３本の線が接続されているが、センサ出力は接点式で０Ｖ配線はセンサのモニタ用ランプを点灯させるためにあると考えてよい。そのため24Ｖおよび出力ケーブルさえ接続されていればI/O端子台モニタLED、PLC入力ともに正常に入力される。通常ａ接点で使用しているが、ｂ接点の端子も出ている。

感度調整は接点を押さえているばねの縮みを調整して機械的におこなっている。ボリュームを右に回すと内部のばねが縮むためより低い圧力（強い力）でないと接点が動作しなくなる、すなわち感度が低下する。感度調整ボリュームの中央部に凹みがあるが、この部分を押すとセンサ接点を操作することができ、真空圧にかかわらずセンサ出力をオンさせることができる。

センサ上面には内部回路と接続端子の関係が図示されているので、接続方法とともに、誤接続した場合の動作とその理由を検討しておくことが必要である。

（3）パイロットチェック弁

スイベルおよびリフトを確実に中間停止させるため、中間停止時にシリンダ内の空気流出を防ぐ目的でパイロットチェック弁が取り付けられている。スイベルでは支える重量がそれほど大きくないため、前述のように現行のMPSではパイロットチェック弁がついていない。
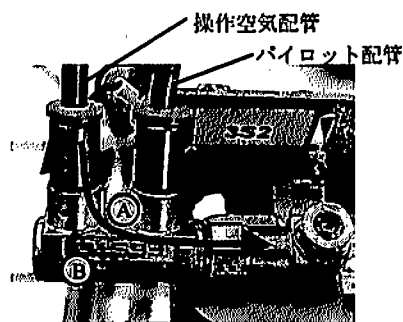
図28　パイロットチェック弁

パイロット配管に圧力が加えられていない状態ではアクチュエータ操作空気配管ではⒶ方向には空気が流れるがⒷ方向にはチェック弁の働きで空気が流れない。パイロット配管に圧力を加えるとチェック弁がはずれⒶ方向、Ⓑ方向ともに空気が流れるようになる。

スイベル、リフトの操作ではそれぞれ排気側のパイロットチェック弁を操作するよう配管されている。

３．４　テスティングステーション

（1）リフト
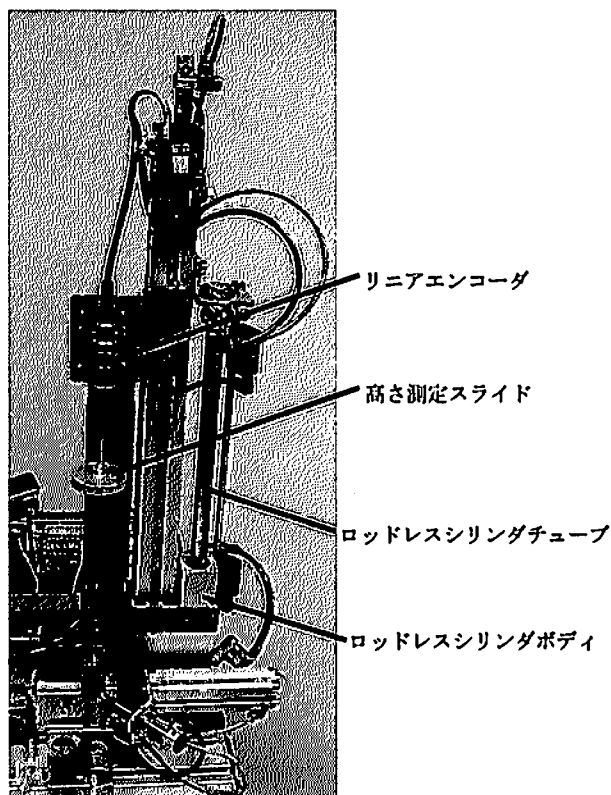
図29　リフト

図29にT-stのリフトを示す。リフトはロッドレスシリンダにより駆動されるが、リフトが締結されているボディとそれをマグネットカップリングで拘

束するチューブ内のピストンの引力はそれほど大きくなく、大きな力（感覚的には10kg程度か）をかけるとボディがずれてしまう。元に戻すのは意外と大変なので気をつけなければいけない。
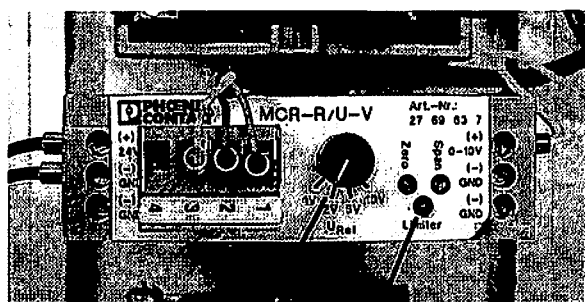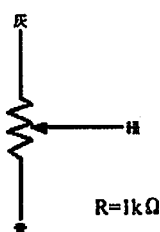
図30　ポテンショメータ変換器

図31　ポテンショメータケーブル

（9）ポテンショメータおよび変換器

高さ測定を行うリニアエンコーダにはポテンショメータが内蔵されており、上下動にともなう抵抗値変化を図30に示すポテンショメータ変換器でPLCが取り扱うことのできる電気信号に変換する。PLCのアナログ入力ユニットは設定により電圧入力（−10V～+10V）または電流入力（4mA～20mAまたは−20mA～+20mA）で使用できるが、この変換器出力は0～10Vの電圧出力となっている。

ポテンショメータの抵抗値は1kΩとなっているが、その3本のケーブルの色と内部の接続の状態を図31に示す。

図32にはポテンショメータ変換器の接続図を示す。内部電源回路には電源の誤接続から内部回路を保護するための回路がついているが、この部分が非常に弱く、24Vと0Vを逆に接続するとほぼ100％の確率で変換器は故障する。ケースを開けると基板上の電源接続端子の近くに見えるダイオードが焼損するらしく、これを交換するか、とりはずしてジャンパ線でつないでしまえば使用できるようになると日産自動車㈱平塚氏よりご教示いただいたが、筆者もまだ試したことはない。このフェニックスコンタクト製の変換器は約4万円と非常に高価なので十分に注意しなければならない。ちなみにオムロン製の同等品（サイズは大きいが若干安く、何より説明書が日本語であることがありがたい）を予備品としてもっている。
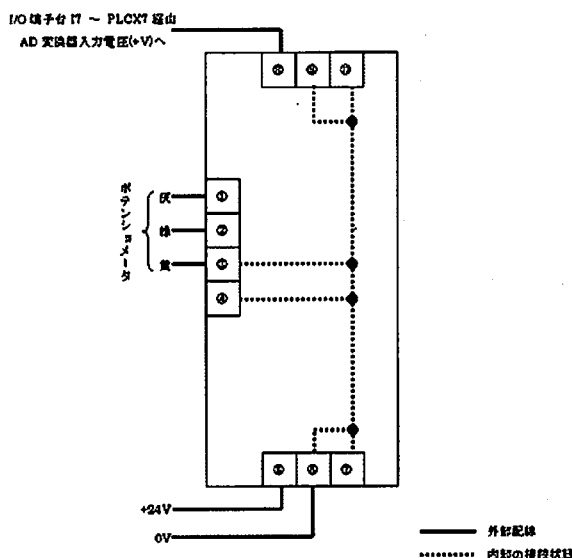
図32　ポテンショメータ変換器外部接続図

変換器にはポテンショメータに加える基準電圧U_{Ref}の切り替えスイッチがあり、ポテンショメータ抵抗値が1kΩの時は5Vに設定するよう説明書に指示がある。変換器は、ポテンショメータ出力③の電圧がU_{ref}と等しいとき変換器出力⑧は10V、③が0Vのとき⑧は0Vとなるように働くので、U_{Ref}の設定値を変更しても動作には影響はなく出力電圧にもほとんど影響がない。ただし消費電流増加による内部回路の負担を考えれば正しく設定するべきであろう。

また、変換器はゼロ点およびスパン調整を行うことができる。高さ計測を行っているといっても他の測定器とのマッチングを考える必要はないので調整にあまり神経質になる必要はない。ただし出力電圧が変換器の限界である11Vに達すると出力電圧上限表示LEDが点灯しそれ以上出力電圧は増加しないので、ワーク高さ計測範囲でこのLEDが点灯しないように調整しなければならない。

変換器には⑥⑦⑨⑩の4つのGND端子があるが全て内部で接続されているため、変換器出力のマイナス配線はPLCアナログユニットから変換器へは配線せず、アナログユニットからは24V電源0V端子へ配線している。また変換器出力⑧はI/O端子台I7へ配線し、PLC入力X7を経由してアナログユニットへ配線されている。直接配線した方が良いと思われるがI/O端子台のLEDの明るさで変換器出力電圧の変化をモニタできるというメリットがある。

ポテンショメータのケーブルが断線（または接触

不良）している場合以下のような症状となる。

まず灰または緑のケーブルが断線している場合、プローブの位置によらず変換器出力⑧は最小値（約0Ｖ）となる。また、黄のケーブルが断線している場合、プローブの位置によらず変換器出力⑧は最大値（約10Ｖ）を示す。これは変換器入力②の入力インピーダンスが高くほとんど電流が流れ込まないことからポテンショメータの抵抗変化の影響を受けず②の入力電圧はU_{Ref}と等しくなるためと考えられる。

3．5　ソーティングステーション

S-stには特に注意を要する機器はない。

4．MPSの改造

訓練の中で使いにくいと感じたところは手を加えていくと装置への理解も深まるのでどんどんトライしていくべきである。ただし大会前には改造部の申請を行うことになっており、大会に参加するに当たり公平性を欠くと判断された場合は元の状態に戻さなければならない。

4．1　空気圧系統の改造例

前述のように標準でついているスピードコントローラはマイナスドライバで調整を行うようになっている。これをつまみつきのものに交換する。これも回り止めナットが付いていたり、つまみが小さくて操作しづらかったりということがあるが、調整のたびにマイナスドライバを探す必要はなくなる。

T-stのスライドストッパの動作音が大きいので、メータインタイプのスピードコントローラを取り付けているチームは多い。

配管をパネル上に固定するのに、結束バンドを使うのではなくチューブをはめて固定するワンタッチタイプのものに変更することもよく行われている。
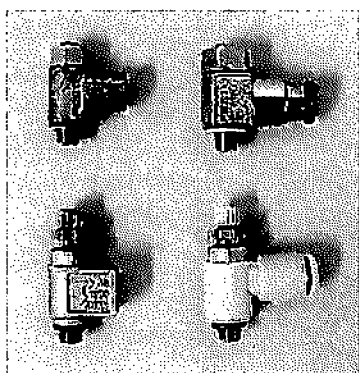
図33　SMC製との比較
上段が標準品、下段がSMC製でそれぞれ
右がユニオンタイプ、左がＭ５メスタイプ。

4．2　電気系統の改造

押しボタンユニット裏の配線はケーブルが長くわかりにくいのである程度整理するとよい。また渡り配線も色を変更するとわかりやすくなる。

PLCの通信ケーブルを多芯のものに変更するとケーブルダクト内がいくらかすっきりする。学生は系統ごとにケーブル色を変更したりもしていたが、この有効性はよくわからない。ただし制御盤の配線について知るためには良いことだと思う。

制御盤の取り出しを頻繁に行うことになるので、電源ケーブル引き出し位置を工夫したり、制御盤を取り出さなくても確認が容易になるよう制御盤の角度を変更したりする改造もよく行われている。24Ｖ系端子台のショートバー固定ねじがマイナスでドライバがすべり操作しにくいので六角穴付ボルトに交換しているチームもある。標準のねじは長すぎるので、交換の際は適切な長さを選択したい。

4．3　機構部の改造

使用しているうちにS-stのスライドはすべりが悪くなってくるので、摩擦係数を低下させるシートを表面に貼り付ける改造はよく行われている。当校ではスライドを支える支柱の位置を変更しスライド角度が大きくなるようにした。ただしこうするとスライド上ワークセンサの位置調整に余裕がなくなる。

4．4　外部機器との接続
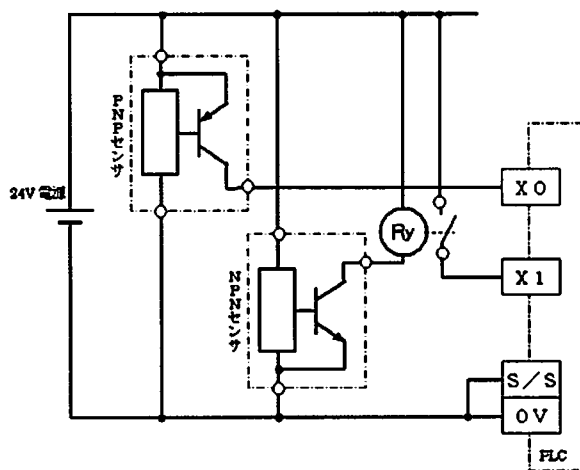
図34　NPNセンサとの接続

訓練中に誤ってセンサを破損してしまい、手元にあるNPNセンサで代用したい、訓練の幅を広げていくため手元にあるアクチュエータやコントローラを取り付けたいがNPN入力なので直接接続できないということがある。また、第42回大会からはロボットが導入されMPSと信号のやり取りが必須となったが、ロボットのコントローラの中には入力、出力ともにNPNタイプにしか対応していないものもある。このような場合は図34や図35に示すようにリレー

を介して接続すればよい。

またFX2Nの出力は4端子1コモンなのでコモンの接続を変更しPLCから直接接続する方法もある（この場合I/O端子台のモニタLEDを気にしなければI/O端子台から配線しても良い）。当校では第42回大会参加時にはロボットコントローラのI/Oはリレーターミナルでコモンの変換を行った。
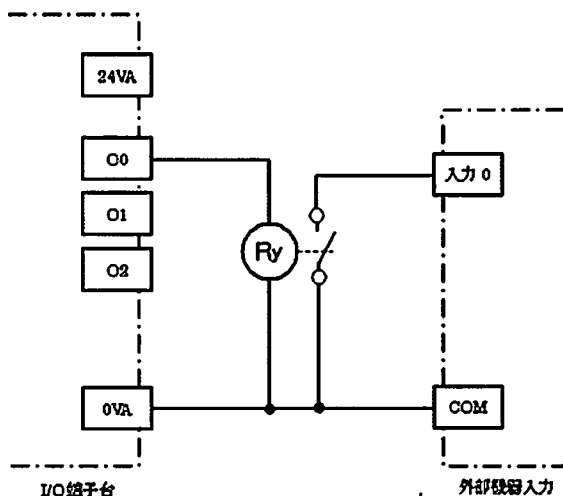
図35　ソース入力機器との接続
（I/O端子台から配線する場合）
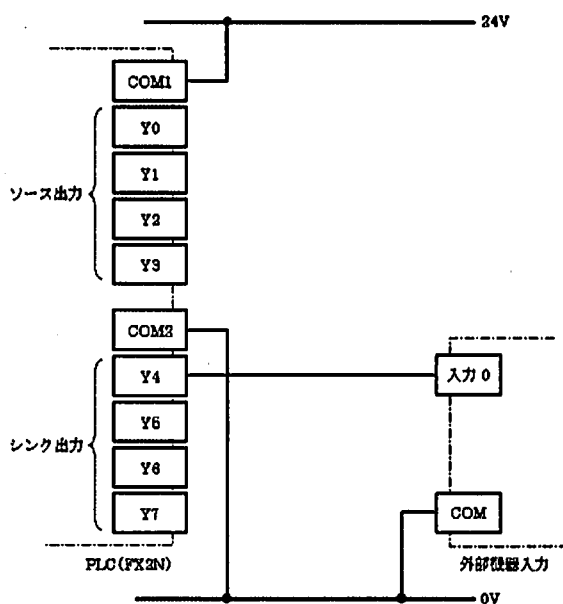
図36　ソース入力機器との接続
（PLC出力から配線する場合）

4.5　調整用工具

図37の上はソレノイドバルブ操作用工具、下はI/O端子台用ドライバである。

ソレノイドバルブ操作工具はよく使うので色も大きさもほかの工具と区別が付くようにした。現在のものは千枚通しを切り詰め先端部を加工したもので、長さが90㎜程度であるがもう少し短い方が使いやすいかもしれない。

I/O端子台、24V系端子台はねじが細く精密ドライバでなければ操作できないが、確実に端子を固定したり、楽にねじを緩めたりするためには握りの太いものの方が便利である。これは既存のドライバの長さを切り詰め先端部を細く加工したものである。
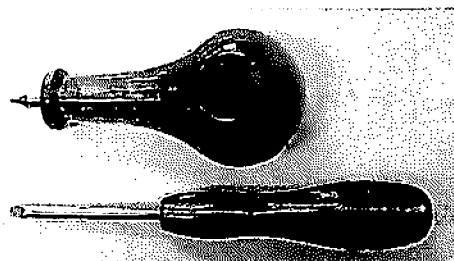
図37　自作工具の例

I/O端子台で出力を強制的にオンさせるためのショートバーも役に立つ。適当な長さのケーブルの両端に棒端子を圧着しただけでもよいが、テスターのプローブのように安全な握り部分があると使いやすい。

使用頻度は少ないが押しボタンユニットのランプ交換も作業が面倒なので、ピンセット（円筒形のものをつかめるようなタイプが市販されている）などを改造（ゴムシート貼り付け など）して使いやすいものを作るとよい。

参考資料

1）オムロン㈱：SAFETY INFORMATION 14号，2002
2）オムロン㈱：セーフティコンポーネントユーザーズガイド SGFL-003B
3）三菱電機㈱：シーケンサカタログ 姫C-005-B0405（MEE）
4）FX2Nシリーズマイクロシーケンサハンディマニュアル JY992D61601J
5）フェスト㈱：Distribution Station Manual 360173
6）フェスト㈱：Testing Station Manual 360174
7）フェスト㈱：Sorting Station Manual 360182
8）フェスト㈱：Beschreibung Pneumatik CPV Beschreibung 165 100 de 0005e
9）フェニックスコンタクト㈱：ポテンショメータ変換器取扱説明書
10）pilz：PNOZ Technical Instructions Nr.17 697
11）ムーラー電機㈱：操作スイッチ表示灯カタログ HPL2001/2002J-RMQ（03/05）
12）SMC㈱：カタログ Best Pneumatics 第3版 ①～④